

**Roman MAREK<sup>1</sup>, Eva HRUBEŠOVÁ<sup>2</sup>, Robert KOŘÍNEK<sup>3</sup>, Martin STOLÁRIK<sup>4</sup>**

**VLIV TECHNICKÉ SEISMICITY INDUKOVANÉ ZAVIBROVÁVÁNÍM ŠTĚTOVNICE NA  
OKOLNÍ ZÁSTAVBU PŘI REALIZACI STARTOVACÍ ŠACHTY KANALIZACE V KARVINĚ**

**Abstract**

The one of the important hazard, resulted from the often used sheet pile vibration technology, is the dynamic impact on the surroundings. In this paper there are presented the 3D numerical results of the real practical problem and comparison of the obtained results with the experimental measuring.

**1 ÚVOD**

Často užívaná technologie hloubení šachet pod ochranou zavibrovávaných štětovnic s sebou přináší jedno velké riziko. Tímto rizikem jsou dynamické účinky na okolní prostředí, které jsou inici-ovány právě jejich zavibrováváním.

Vytýčeným úkolem bylo vytvořit a analyzovat prostorový matematický model, který vychází z konkrétní situace (těžní šachta TŠ27 pro kanalizaci v blízkosti zástavby na ulici Mizerovská v Karvině) a z experimentálního měření dynamické odezvy provedené odborníky z Ústavu geoniky AV ČR.

**2 MATEMATICKÝ MODEL**

Pro potřeby řešení nastoleného úkolu byl vytvořen matematický model ve výpočtovém programu Cesar LCPC CLEO 3D, který je založen na principu numerické metody konečných prvků. K zohlednění časově závislých objemových změn pod vlivem dynamického zatížení byl použit jeho modul DYNI, který řeší dynamickou odezvu prostřednictvím přímé integrace lineárních úloh. 3D model umožňuje zohlednění geometrického tlumení. Materiálové tlumení prostředí uvažováno nebylo.

Geometrie modelu s částečně zjednodušenou morfologií povrchu a přilehlých konstrukcí vychází z konkrétní situace poskytnutou firmou Geoengineering spol. s.r.o. a osobní observace lokality. Z pohledu modelování byly sledovány především přilehlé komunikace, hřiště, jehož část je přímo v půdorysu budoucí šachty a budova (č.p.1916), která se nachází cca 45m od ní (viz. obr. 1).

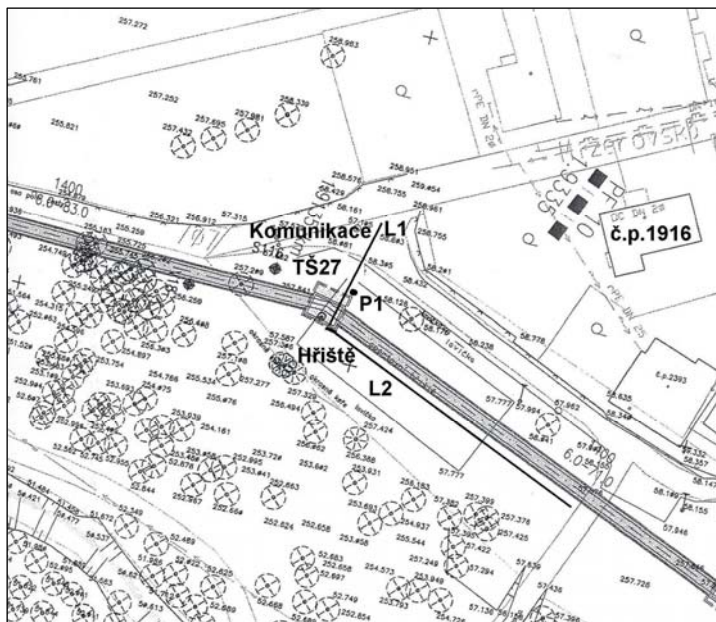
---

<sup>1</sup> Ing. Roman Marek, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875, Ostrava-Poruba, tel.: +420 597 321 362, e-mail: roman.marek@vsb.cz.

<sup>2</sup> Doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875, Ostrava-Poruba, tel.: +420 597 321 944, e-mail: eva.hrubesova@vsb.cz.

<sup>3</sup> Doc. Ing. Robert Kořínek, CSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875, Ostrava-Poruba, tel.: +420 597 321 942, e-mail: robert.korinek@vsb.cz.

<sup>4</sup> Ing. Stolarík Martin, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875, Ostrava-Poruba, tel.: +420 597 321 362, e-mail: martin.stolarik@vsb.cz.



**Obr. 1:** Výchozí situace pro numerický model.

Generalizovaný geologický profil byl přijat z průzkumného vrtu provedeného na dané lokalitě (opět poskytnuto firmou Geoengineering spol.s.r.o.) a byl upřesněn popisem geologie při samotném hloubení TŠ27. Materiálové charakteristiky vrstevnatého prostředí viz. tab. 1. Vliv vody v modelu z důvodu její nepřítomnosti nebyl uvažován.

**Tab. 1:** Materiálové charakteristiky.

	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu$ [ - ]	E [Mpa]	poznámka	
Živice	2200	0,3	1000	Komunikace (hřiště) m = 0,15 (0,10)m	Hřiště SH+-0,00 ↓
Ornice	1650	0,4	2	mocnost m = 0,8m	
Navážka	1900	0,3	50	pod vozovkou a hřištěm (m = 0,8m)	
MH	2100	0,4	8	m = 7,9m	
GC	1900	0,3	40	m = 0,5m	
ML	2000	0,4	15		
Cihly	1800	0,25	12000	Budova	
Ocel	7850	0,2	210000	Larssen IIIn, dl. 12m	

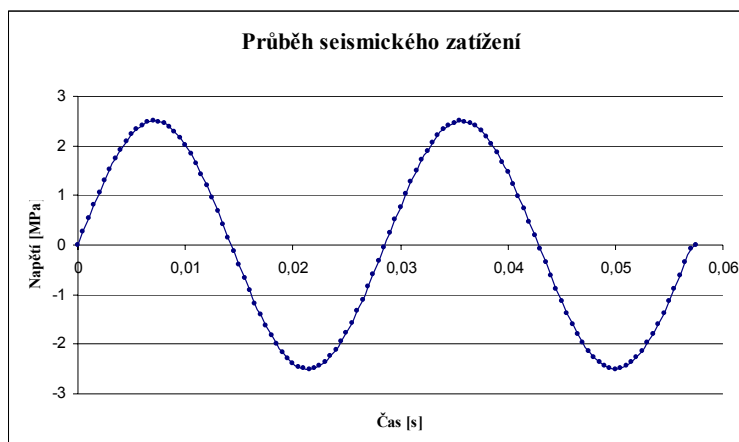
### 3 DYNAMICKÉ ZATÍŽENÍ

Seismické zatížení bylo modelováno jako plošné zatížení působící na ocelovou štetovnici larssen IIIn. Iniciátorem zatížení bylo vibrační zařízení typu ICE 18RF a vychází z předpokladu časově závislého, periodicky se opakujícího (harmonického) kmitání  $F$  (vztah 1), které je dáno frekvencí  $f$ , zdrojovou amplitudu seismického zatížení  $F^*$  a fázovým posunem  $\Phi_0$ . Fázový posun není uvažován. Frekvence vyplývá ze znalosti typu vibračního zařízení [2] a je rovna 35Hz, což odpovídá 2100ot/min. Dalšími potřebnými parametry pro stanovení zatěžovací křivky jsou amplituda výchylky  $y=12\text{mm}$  a hmotnost vibrujícího tělesa  $m=3920\text{kg}$  (viz. [2]). Pro harmonické kmitání sinusového charakteru pak platí [3]:

$$F = F^* \cdot \sin(\omega \cdot t + \Phi_0), \text{ kde } \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$F^* = a \cdot m = (2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot y \cdot m \approx 2,5\text{MN}$$
(1)

Modelovány byly 2 vibrační cykly působící po dobu 0,058s s časovým přírůstkem 0,0005s, což odpovídá 116 výpočtovým krokům (viz. graf 1)



**Graf 1:** Průběh modelovaného seismického zatížení sinusového charakteru.

#### 4 ANALÝZA MODELU

Hlavními hodnotícími parametry odezvy matematického modelu v modulu DYNI na seismické zatížení jsou posuny a napětí v okolí zdroje působení. V našem případě jsou směrodatnou veličinou svislé posuny.

Z několika modelových situací byly vybrány 2 stavy, které nejtransparentněji vystihují maximální posuny a dosah oblasti rozvoje posunů na povrchu. V prvním případě se jedná o stav, kdy je štetovnice zavibrovávána v hloubce 0,9m pod úroveň hřiště, tj. na rozhraní vrstev navážka - zemina MH, v druhém případě se jedná o zavibrovávání larseny v rozhraní zemin typů MH a GC, což odpovídá hloubce 8,8m pod úroveň hřiště.

Základním problémem je ověření správnosti volby zdrojové amplitudy zatížení a materiálových parametrů prostředí v modelu se skutečným stavem. Z experimentálního měření dynamické odezvy provedené zaměstnanci Ústavu geoniky AV ČR byly stanoveny maximální amplitudy rychlostí kmitání na povrchu ve vzdálenosti 3,27m od štetovnice (bod P1 obr. 1) a ve sklepech rodinného domu č.p.1916, vzdáleného cca 50m, jež jsou však objektivně velice nízké (viz. tab. 2).

**Tab. 2:** Maximální naměřené frekvence a amplitudy rychlostí kmitání.

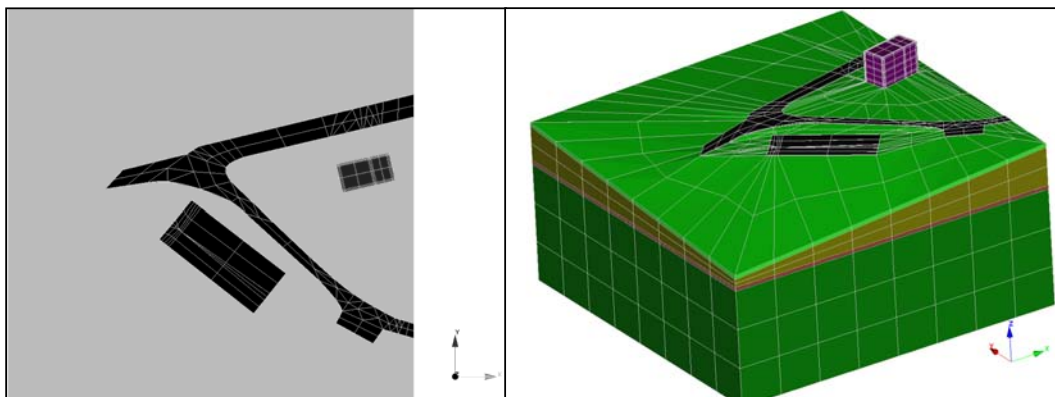
Stanoviště	Vzdálenost [m]	Max. amplituda na svislé složce [mm/s]	Max. amplituda na složce kolmé ke štetovnici [mm/s]	Max. amplituda na složce vodorovné ke štetovnici [mm/s]	Frekvence [Hz]
Rodinný dům	Cca 50	0,35	0,12	0,23	20-30
Pracoviště (P1)	3,27	4,76	8,33	6,55	20-30

Přímé porovnání naměřených maxim s hodnotami rezultujícími z numerického modelu není možné, protože modul DYNI neumožňuje zobrazení rychlostí kmitání. Ověření bylo provedeno nepřímo z předpokladu, že rychlost je derivace dráhy podle času, tj. směrnice tečny dráhy k času. Z vývoje posunů v bodě P1 za daný časový krok bylo zjištěno, že vypočtené hodnoty maximálních amplitud jsou nižší než naměřené, ale řádově se shodují (svislá složka...2,4mm/s, kolmá složka...1,1mm/s, vodorovná složka...1,8mm/s).

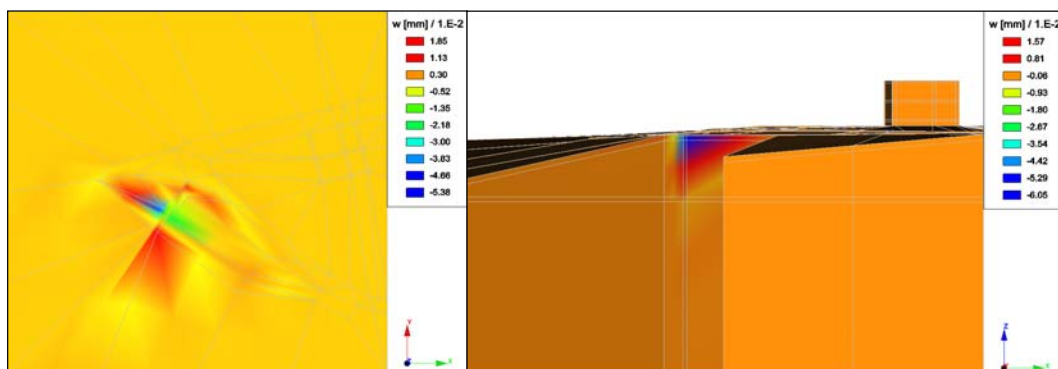
Na obr. 3 resp. 4 jsou graficky znázorněny svislé posuny pro jeden z extrémních výpočtových kroků pro první a druhý modelový stav. Jsou z nich patry rozvoje posunů na povrchu a hloubkový projev dynamických účinků v závislosti na vzdálenosti od zdroje seismického působení.

V grafech 2-5 je pak zobrazen vývoj těchto svislých posunů pro extrémní výpočtové kroky ve směrech linií L1 a L2 (viz. obr. 1) pro dané modelové stavy, opět v závislosti na vzdálenosti od půso-biště. Vyplyvá z nich, že nežádoucími účinky může být ovlivněna především přilehlá část vozovky a bezesporu hřiště.

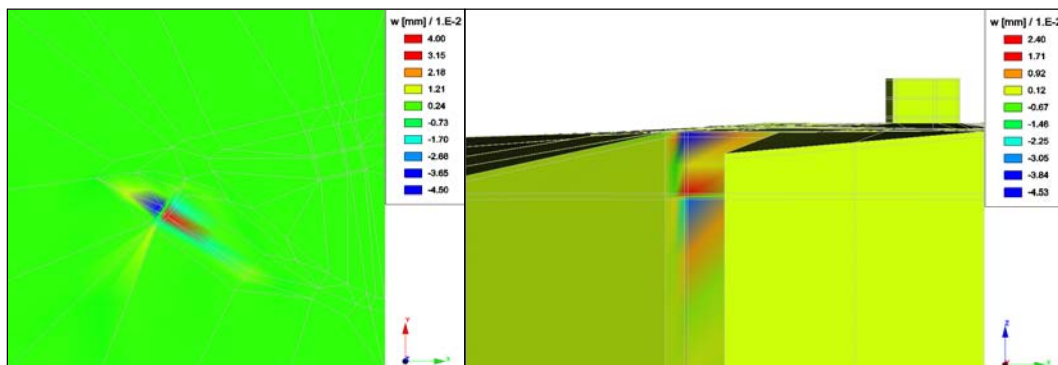
Zajímavý je také hloubkový projev svislých posunů pod patou štětovnice znázorněný v grafech 6 a 7, který mimo samotných posunů reflektuje rozhraní jednotlivých zeminových vrstev.



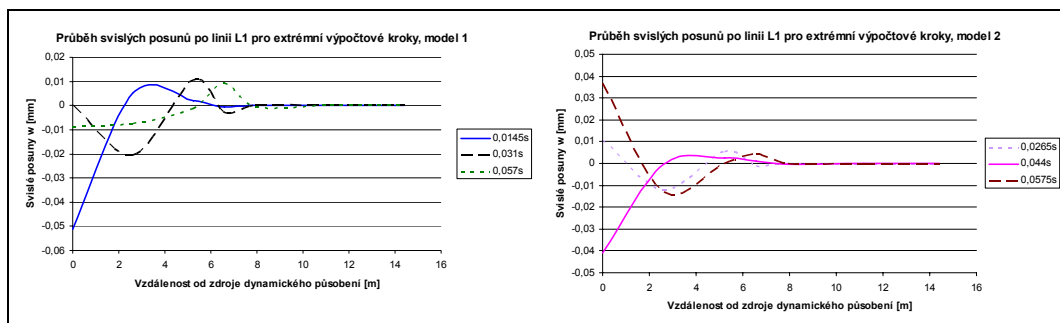
**Obr. 2:** Půdorysný pohled a axonometrický pohled na model.



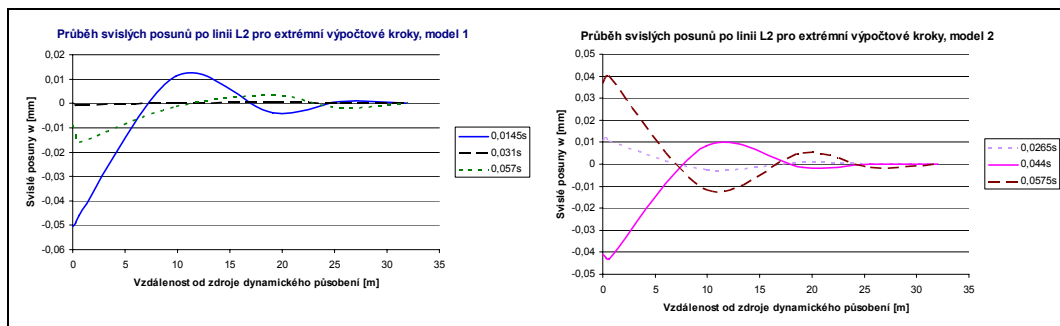
**Obr. 3:** Svislé posuny – plošný a hloubkový rozvoj – první modelový stav.



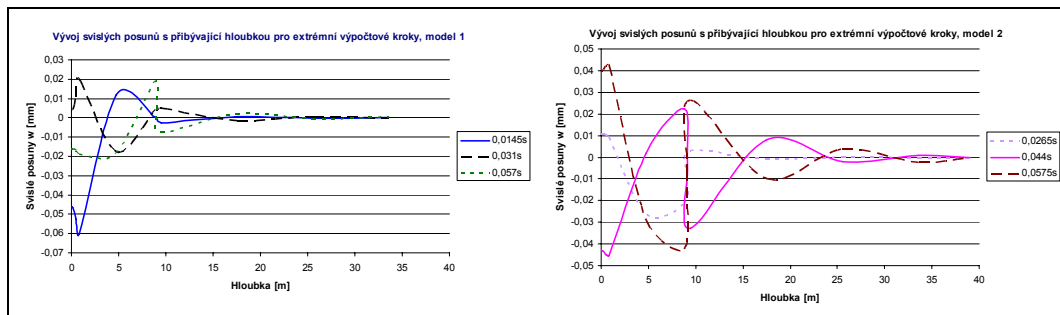
**Obr. 4:** Svislé posuny – plošný a hloubkový rozvoj – druhý modelový stav.



**Graf 2 a 3:** Vývoj svislých posunů po linii L1 pro první a druhý modelový stav.



**Graf 4 a 5:** Vývoj svislých posunů po linii L2 pro první a druhý modelový stav.



**Graf 6 a 7:** Hloubkový vývoj svislých posunů pro první a druhý modelový stav.

## 5 ZÁVĚRY

Z matematického modelu, který byl vytvořen ve výpočtovém programu Cesar LCPC CLEO 3D, v modulu DYN1, pro řešení konkrétního případu zavibrovávání štetovnice typu larsen III., vyplývají následující závěry:

Dynamickými účinky je postiženo především hřiště. Maximální svislé posuny dle matematického modelu s přihlédnutím na nižší modelové amplitudy rychlostí kmitání nepřesáhnou  $\pm 0,1\text{mm}$ . Ve vzdálenosti 25m po linii L2 je už jejich vliv nepatrný. Ač se mohou zdát tyto posuny relativně malé, lze do budoucna očekávat problémy s životností tohoto hřiště.

Rozvoj oblasti účinků ve formě posunů dosahuje též k okraji přilehlé komunikace, která je od štetovnice vzdálená cca 8m. Maxima svislých posunů dosahují obdobných hodnot, jako v předcházejícím případě. Útlum účinků od dynamického zatížení na povrchu je však po linii L1 vyšší, patrně z důvodu nekompaktnosti materiálů mezi hřištěm a komunikací. V době měření dynamické odezvy byly zjištěny radiální trhliny na jejím okraji (viz. obr. 5). Jelikož už byly v této době práce v plném proudu, zůstává otázkou, zda tyto trhliny jsou důsledkem dynamické odezvy nebo mají genezi jinou.

V neposlední řadě můžeme na základě modelu konstatovat, že hloubkový projev svislých posunů při dané geologii je minimálně 15m pod patu štetovnice.



**Obr. 5:** Radiální trhliny na přilehlém okraji vozovky.

## LITERATURA

- [1] Manuál programu CESAR LCPC, Version 4.0.
- [2] INTERNETOVÝ ZDROJ: <http://www.nortrade.dk/ICE.htm>
- [3] LUŇÁČKOVÁ B., HRUBEŠOVÁ E., KOŘÍNEK R.. Vliv materiálových parametrů zemin na seizmickou odezvu horninového prostředí a konstrukcí. *Dílčí výzkumná zpráva CIDEAS za rok 2006*. Ostrava: FAST, VŠB-TU.
- [4] LUŇÁČKOVÁ B., HRUBEŠOVÁ E., KOŘÍNEK R. Stanovení dynamických účinků beranění piloty. *Dílčí výzkumná zpráva CIDEAS za rok 2007*. Ostrava: FAST, VŠB-TU.

*Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, projekt 1M6840770001 v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS*

**Oponentní posudek vypracoval:** Prof. Ing. Karel Müller, DrSc.